

郝俊,陈秋生,周民兰,等.喀斯特地区 2 种豆科灌木秋季单株可饲产量估测模型构建[J].江苏农业科学,2018,46(6):155-158.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.040

喀斯特地区 2 种豆科灌木秋季单株可饲产量估测模型构建

郝俊,陈秋生,周民兰,吴丽琴

(贵州大学动物科学学院,贵州贵阳 550025)

摘要:为构建喀斯特地区多花木兰、白刺花单株可饲产量估测模型,以其形态指标的株高、分枝数、基径、地径、平均冠幅直径等为变量,采用回归分析方法与其单株可饲产量作相关性分析。结果表明,多花木兰单株可饲产量分别与其株高、平均冠幅直径、基径、地径之间存在显著相关性,以此构建的单株可饲产量估测模型为 $y = -1.143 + 0.005x_1 + 0.002x_2 - 0.237x_3 + 0.606x_4$ (y 为单株可饲产量, x_1 为株高, x_2 为平均冠幅直径, x_3 为基径, x_4 为地径)。白刺花的单株可饲产量分别与其株高、冠幅、地径、分枝数显著相关,以此参数构建的单株可饲产量估测模型为 $y = -484.779 + 2.141x_1 + 3.939x_2 + 84.718x_3 + 19.565x_4$ (y 为单株可饲产量, x_1 为株高, x_2 为冠幅, x_3 为地径, x_4 为分枝数)。所建立的回归模型分析检验结果呈现极显著性,拟合度高。本试验为多花木兰、白刺花单株可饲产量提供简单的测定方法,为高效利用灌木提供了可靠的技术支撑,可以在不破坏原有植被的情况下对单株灌木可饲产量进行定量估测。

关键词:豆科灌木;估测模型;回归分析;单株可饲产量

中图分类号: S793.905 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0155-04

生物量通常是指生态系统中生物组分单位面积上有机物质的质量或总量,直接反映了生态系统的物质生产量^[1]。生物量是植物群落最重要的数量特征之一,是生态系统生产力的重要体现,为研究生态系统的物质循环和能量流动提供了基本资料^[2]。灌木生物量作为灌木群落和生态系统研究的重要指标之一,是衡量植被生产力的重要指标,更是对畜牧业的发展有重要意义^[3-4]。测定灌木生物量主要有收获法和预

测模型法。收获法会对植被造成破坏,而预测模型法不仅能够避免对灌木造成破坏,而且可减少工作量,因此,采用易测因子建立灌木生物量预测模型是一种有效的测定灌木生物量方法^[3]。

贵州省饲用植物丰富,天然草地饲用灌木较多,如白刺花、紫穗槐、胡枝子、多花木兰等^[5]。多花木兰(*Indigofera amblyantha* Craib)、白刺花(*Sophora davidii*)是贵州喀斯特地区常见的优良豆科牧草和饲用灌木树种^[6-7],均耐旱、耐酸、耐瘠薄,生物量大,营养价值高,具有较高的药用价值^[8-13]。国内外对灌木生物量估测模型的研究逐渐增多,形式多样,但就建立植株多个指标与其单株可饲产量之间的回归模型的研究十分鲜见^[14]。且秋季灌木的生物量对于解决即将到来的冬季、春季饲草料短缺问题尤为重要。因此,本研究以贵州地区

收稿日期:2016-10-16

基金项目:贵州省留学人员科技创新项目[编号:黔人项目资助合同(2015)07];贵州大学引进人才项目[编号:贵大人基合字(2013)04]。

作者简介:郝俊(1984—),男,博士,讲师,主要从事草地管理、草产品加工方面的研究。E-mail:cauhaojun@126.com。

175-187.

[6] Wang C Y, Fu C C, Liu Y C. Effects of using light-emitting diodes on the cultivation of *Spirulina platensis* [J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2007, 37(1): 21-25.

[7] Das P, Wang L, Aziz S S, et al. Enhanced algae growth in both phototrophic and mixotrophic culture under blue light [J]. *Bioresource Technology*, 2011, 102(4): 3883-3887.

[8] 毛安君. LED 光源促进微藻生长的研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2007.

[9] Whitton B A, Potts M. The ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space [M]. Springer, Dordrecht, 2000.

[10] 蔡庆生. 植物生理学实验 [M]. 北京:中国农业大学出版社, 2013: 54-55.

[11] Hellebust J A, Craigie J S. Handbook of phycological methods: physiological and biochemical methods [M]. London: Cambridge University Press, 1978: 71-79.

[12] Korb N, Figueroa F L, Aguilera J. Effect of light quality on the accumulation of photosynthetic pigments, proteins and mycosporine-like amino acids in the red alga *Porphyra leucosticta* (Bangiales, Rhodophyta) [J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2005, 80(2): 71-78.

[13] Kehoe D M, Grossman A R. Similarity of a chromatic adaptation sensor to phytochrome and ethylene receptors [J]. *Science*, 1996, 273(5280): 1409-1412.

[14] Demarsac N T. Occurrence and Nature of chromatic adaptation in cyanobacteria [J]. *Journal of Bacteriology*, 1977, 130(1): 82-91.

[15] 王小琴. 铁限制及 *petE* 基因失活对蓝藻光合生理的影响 [D]. 武汉:华中师范大学生命科学院, 2015.

[16] 王伟. 光质对中华盒形藻生长及生化组成的影响 [J]. *植物科学学报*, 1999, 17(3): 197-200.

[17] 田志环. 稀有微藻葛仙米资源的研究与开发 [J]. *资源开发与市场*, 2007, 23(5): 450-451.

常见的灌木多花木兰和白刺花为对象,研究其形态特征指标与其单株可饲产量之间的关系,并建立单株可饲产量回归模型,为多花木兰和白刺花秋季单株可饲产量提供简单的测定方法,为高效利用灌木提供可靠的技术支撑,为在不破坏原有植被的情况下对单株灌木可饲产量进行定量估测提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

采样地位于贵州省贵阳市花溪区。贵阳市是喀斯特地貌较典型、面积较大的地区^[15],地处 26°11′~26°34′N、106°27′~106°52′E,最高海拔 1 655.9 m,最低海拔 999.0 m。属亚热带季风湿润气候,具有明显的高原性气候特点,冬无严寒,夏无酷暑,气候温和,雨量充沛,雨热同季,春秋气候多变,垂直气候差异明显。年均温 15.2℃,年均日照时数 1 214.6 h,无霜期 285 d,年均降雨量 1 178 mm,相对湿度 85%。自然土壤以硅铝质黄壤、黄色石灰土分布最广^[16]。

研究区人工灌丛草地主要优势灌木植被为白刺花、多花木兰,主要伴生植物为车前草(*Plantago asiatica*)、假茅拂子茅(*Calamagrostis pseudophragmites*)、金荞麦(*Fagopyrum esculentum* Moench)、狗牙根(*Cynodon dactylon* Pers)等。

1.2 试验材料与测定方法

试验材料为 2013 年种植人工灌丛草地中的白刺花和多花木兰。

试验在 2015 年 9 月至 2015 年 11 月进行,于每月下旬分别随机选取 10 株白刺花、多花木兰,分别测量其株高(为自然高度)、冠幅直径(南北向直径和东西向直径。假设 2 种灌木的冠幅为圆形,平均直径为南北向直径与东西向直径均值)、地径(距地面 20 cm 处的主干直径)、基径(第一个一级分枝距分枝处 4 cm 的直径)、分枝数(所有一级分枝数目),之后将其可饲部分(枝条直径小于 3 mm 的嫩枝部分)的 1/4 剪下带回实验室称质量,乘以 4,作为单株鲜质量产量。试验共取样 3 次,实际测定 2 种灌木各 30 株。

1.3 数据处理

试验所得数据采用 Excel 进行直线回归分析及相关性分析,得到相应的图表。然后应用分析软件 SPSS 22.0 进行多元回归分析。

先对 2 种灌木各个形态特征指标与其单株可饲产量之间进行一元回归分析,若灌木各形态特征指标与其单株可饲产量之间回归系数 $r^2 > 0.6$,即所建立的直线回归方程的拟合度为 60% 以上,表明灌木各形态指标与其单株可饲产量之间存在显著相关性,则形态特征指标可作为预测灌木单株可饲产量的因子。对可作为预测因子的指标与产量进行多元回归分析,构建单株可饲产量估测模型。线性回归的一般结构为: $y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_j x_j + \varepsilon$ [y 为灌木生物量、 x_j 为灌木形态指标,如地径(D)、株高(H)、平均冠幅直径(C)及其组合变量等, β_j 为模型参数, ε 为误差项]。然后对所构建的灌木单株产量估测模型进行回归方差分析检验。

2 结果与分析

2.1 形态指标与其单株可饲产量之间的直线回归分析

采用 Excel 进行直线回归分析,从表 1 可以看出,多花木

兰形态特征指标株高、平均冠幅直径、基径、地径与样本单株可饲产量之间模拟的线性回归关系均存在显著正相关,即所建立的回归方程对预测灌木单株可饲产量的可靠度占 60% 以上的形态指标有株高、平均冠幅直径、基径、地径。与单株可饲产量相关性大小关系为地径 > 平均冠幅直径 > 株高 > 基径。其中回归系数最小的是一级分枝数与样本单株可饲产量之间的相关关系, r^2 为 5×10^{-5} ,表明多花木兰的单株可饲产量随其一级分枝数的变化不明显。

表 1 不同种类灌木相关形态特征指标与其单株产量之间的直线回归关系

灌木种类	自变量	回归方程	r^2
多花木兰	株高(cm)	$y = 10.815x - 1\,322.6$	0.674 7
	平均冠幅直径(cm)	$y = 33.708x - 743.22$	0.723 0
	基径(cm)	$y = 1\,205.9x - 348.69$	0.610 6
	地径(cm)	$y = 753.61x - 536.76$	0.795 4
	一级分枝数	$y = 0.651\,3x + 409.89$	5×10^{-5}
白刺花	株高(cm)	$y = 4.888\,4x - 522.46$	0.668 2
	平均冠幅直径(cm)	$y = 12.444x - 55.85$	0.725 4
	基径(cm)	$y = 386.76x + 23.83$	0.100 6
	地径(cm)	$y = 482.95x - 617.36$	0.632 0
	一级分枝数	$y = 52.141x + 66.84$	0.735 7

兰花样本形态特征指标株高、平均冠幅直径、地径、分枝数与样本单株可饲产量之间模拟的线性回归关系均存在显著正相关,即所建立的回归方程对预测灌木单株可饲产量的可靠度占 60% 以上的形态指标有株高、平均冠幅直径、基径、地径、一级分枝数。与单株可饲产量相关性大小关系为一级分枝数 > 平均冠幅直径 > 株高 > 地径 > 基径。其中回归系数最小的是基径与单株可饲产量之间的相关关系, r^2 为 0.100 6,表明白刺花的单株可饲产量随其基径的变化不明显。

2.2 形态性状与单株产量间的相关性分析

2.2.1 多花木兰 从表 2 可以看出,通过相关性分析多花木兰各形态性状间除了一级分枝数与其单株可饲产量相关性不显著外,其他各性状间相关性均显著,反映出各形态特征指标之间协调性较好,其中以与其地径之间组合的相关系数最大,达 0.891 以上。表明株高、平均冠幅直径、基径、地径可作为预测因子与灌木产量构建多元回归估测模型。在对多花木兰单株可饲产量与其形态特征指标进行多元回归分析时,一级分枝数应舍弃而不作为预测因子。

2.2.2 白刺花 从表 3 可以看出,白刺花各形态性状间除了基径与其单株可饲产量之间相关性不显著外,其他各性状间相关性均显著,反映出各形态特征指标之间协调性较好,其中以单株可饲产量与其一级分枝数之间组合的相关系数最大,达 0.858 以上。表明株高、平均冠幅直径、一级分枝数、地径可作为预测因子与灌木单株可饲产量构建多元回归估测模型。在对白刺花单株可饲产量与其形态特征指标进行多元回归分析时,基径应舍弃而不作为预测因子。

2.3 单株可饲产量回归模型统计量

从表 4 可以看出,多花木兰单株可饲产量与其株高、冠幅、基径、地径 4 个形态特征指标之间的回归系数 R^2 达 0.89 以上,调整度 R^2 为 0.873,估计标准误差值为 0.285 56;白刺

表 2 多花木兰形态性状与单株产量间的相关系数

指标	株高	平均冠幅直径	一级分枝数	基径	地径	单株产量
株高	1					
平均冠幅直径	0.817	1				
一级分枝数	0.292	0.135	1			
基径	0.679	0.721	0.152	1		
地径	0.673	0.792	0.045	0.887	1	
单株产量	0.821 **	0.850 **	0.007	0.781 **	0.891 **	1

注：“**”表示在 0.01 水平上显著相关。

表 3 白刺花形态性状与单株产量间的相关系数

指标	株高	平均冠幅直径	一级分枝数	基径	地径	单株产量
株高	1					
平均冠幅直径	0.652	1				
一级分枝数	0.598	0.800	1			
基径	0.071	0.437	0.450	1		
地径	0.654	0.655	0.761	0.464	1	
单株产量	0.817 **	0.852 **	0.858 **	0.317	0.795 **	1

注：“**”表示在 0.01 水平上显著相关。

表 4 单株可饲产量回归模型统计量

灌木种类	相关系数(<i>r</i>)	回归系数(<i>R</i> ²)	调整度(<i>R</i> ²)	估计标准误差
多花木兰	0.946	0.895	0.873	0.285 56
白刺花	0.953	0.909	0.873	132.712 90

花单株可饲产量与其株高、冠幅、地径分枝数 4 个形态特征指标之间的回归系数 *R*² 达 0.909 以上,调整度 *R*² 为 0.873,估计标准误差值为 132.712 90。2 种灌木与各自的 4 个形态特征指标与其单株可饲产量之间的关系极显著。回归方程中至少有 1 个回归系数具有显著性则表明回归方程具有统计意

义,从多元回归分析结果显示,其中多花木兰株高、地径、基径 3 个指标的回归系数均具有显著性;白刺花中 4 个指标的回归系数均具有显著性,说明 2 个回归方程具有统计意义。

2.4 单株可饲产量估测模型的建立

利用 SPSS 软件进行多元回归分析结果见表 5,将表 5 中多花木兰、白刺花的回归系数数据分别代入多元回归方程式: $y=\beta_0+\beta_1x_1+\cdots+\beta_jx_j+\varepsilon$ 中。式中:*y* 为灌木生物量,*x_j* 为灌木形态指标(如地径、株高、平均冠幅直径及其组合变量等), β_j 为模型参数, ε 为误差项。

表 5 不同种类灌木单株可饲产量多元线性回归分析

灌木种类	模型	非标准化回归系数		标准化系数	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
		回归系数	标准误差			
多花木兰	常数	-1.143	0.179		-6.397	0.000
	株高(cm)	0.005	0.002	0.402	3.005	0.007
	平均冠幅直径(cm)	0.002	0.006	0.056	0.359	0.724
	基径(cm)	-0.237	0.259	-0.153	-0.916	0.371
	地径(cm)	0.606	0.157	0.714	3.861	0.001
白刺花	常数	-484.779	172.528		-2.810	0.018
	株高(cm)	2.141	0.820	0.358	2.612	0.026
	平均冠幅直径(cm)	3.939	2.489	0.270	1.583	0.145
	地径(cm)	84.718	96.579	0.139	0.877	0.401
	一级分枝数	19.565	11.338	0.322	1.726	0.115

构建多花木兰单株可饲产量四元回归估测模型为:

$y=-1.143+0.005x_1+0.002x_2-0.237x_3+0.606x_4。$

式中:*y* 为单株可饲产量,*x*₁ 为株高,*x*₂ 为平均冠幅直径,*x*₃ 为基径,*x*₄ 为地径。

构建白刺花单株可饲产量四元回归估测模型为:

$y=-484.779+2.141x_1+3.939x_2+84.718x_3+19.565x_4。$

式中:*y* 为单株可饲产量,*x*₁ 为株高,*x*₂ 为平均冠幅直径,*x*₃ 为地径,*x*₄ 为一级分枝数。

2.5 单株可饲产量估测模型的检验

从表 6 可以看出,多花木兰、白刺花单株可饲产量回归模型的方差分析表明,当回归方程包含各自的 4 个预测因子时,显著性概率小于 0.01,表明估测模型回归方程相关关系极显著,拟合效果好。以多花木兰、白刺花各自的形态特征指标构建的单株可饲产量估测模型回归方程具有统计意义,对定量估测其单株可饲产量具有科学性及可行性。

3 讨论与结论

本研究以 2 个或者 2 个以上的形态因子组合成一个自变

表 6 不同种类灌木单株可饲产量多元回归方程检验

灌木种类	模型	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
多花木兰	回归	13.219	4	3.305	40.525	4.29×10^{-9}
	残差	1.549	26	0.082		
	统计	14.768	29			
白刺花	回归	1 625 189.241	4	406 297.31	25.019	0.000 034 3
	残差	162 393.245	26	16 239.324		
	统计	1 787 582.486	29			

量,研究其与单株可饲产量的相关性,建立指数方程或者多项式方程,并寻找最佳回归模型,以极显著的多个形态指标,直接建立多元线性回归方程,所得到的判定系数较姜凤岐等对小叶锦鸡儿灌丛地上生物量的预测、王庆锁对中间锦鸡儿生物量估测要高^[17-18]。单个形态指标建立回归模型时,也即建立一元回归模型,拟合度小,其预测标准误差较大。但当以极显著相关的多个指标与可饲生物量极显著相关形态因子建立多元回归直线时,预测误差较小,并且比单个因子与生物量建立回归模型的拟合度大。

姜凤岐等利用易测因子来建立灌木生物量估测模型,所使用的易测因子是以乔木生物量与植株高度和冠幅的相关性较大^[17]。王庆锁选择的是植物高度和冠幅作为易测因子,不同的是他建立线性回归方程,自变量为植物高度与冠幅组合,得到的 R^2 值为 0.82 左右^[18]。Lufafa 等对塞内加尔花生盆地的 2 种常见乡土灌木 *Guiera senegalensis* 和 *Piliostigma reticulatum* 的生物量与基径、高度、株数的关系进行研究,并建立回归模型^[19]。不同的灌木建立模型,选择的自变量也不同。在本研究中多花木兰、白刺花选择的自变量在基径和分枝数上不相同。

前人研究大多主要是通过测定灌木株高、冠幅、地径几个形态指标来估测灌木产量,建立的是二元或三元回归模型,较少涉及基径和一级分枝数。本研究通过线性回归分析结果显示多花木兰一级分枝数和白刺花基径分别与其可饲单株产量关系不显著,这与李钢铁等对旱生灌木生物量预测模型的研究中采用分枝数与地上生物量对沙棘进行的回归分析模型结果^[4]不同,可能是由于植株形态类型及多花木兰生长年限不同的原因导致。

本研究针对灌木的可饲部分产量作为预测值,其回归模型可推广于喀斯特地貌地区估测秋季多花木兰、白刺花的可饲生物产量,便于精确估算秋季灌木的饲草供应量,对维持本地区冬春季牲畜的平衡发展具有实际意义。此外,该类地区土地存在不同程度的石漠化,本研究为在不破坏原有植被的情况下对灌木单株产量进行定量估测提供一种可行的方法,且其预测因子可为其他灌木生物量的估测提供参考,对保护生态环境具有重要意义。

多花木兰 4 个形态特征指标株高、平均冠幅直径、基径、地径与单株产量间均存在显著相关性,以此作为预测产量的因子得到多花木兰单株可饲产量回归估测模型为:

白刺花 4 个形态特征指标株高、平均冠幅直径、分枝数、地径与单株产量之间存在显著相关性,以此作为预测产量的因子得到白刺花单株可饲产量回归估测模型为:

$$y = -484.779 + 2.141x_1 + 3.939x_2 + 84.718x_3 + 19.565x_4$$

参考文献:

[1] 郑绍伟,唐 敏,邹俊辉,等. 灌木群落及生物量研究综述[J]. 成都大学学报(自然科学版),2007,26(3):189-192.

[2] 何炎红,田有亮,叶冬梅,等. 白刺地上生物量关系模型及其与叶面积关系的研究[J]. 中国沙漠,2005,25(4):541-546.

[3] 刘 陟,黄 奇,周延林,等. 毛乌素沙地油蒿生物量估测模型研究[J]. 中国草地学报,2014,36(4):24-30.

[4] 李钢铁,秦富仓,贾守义,等. 旱生灌木生物量预测模型的研究[J]. 内蒙古林学院学报,1998,20(2):25-31.

[5] 陈 超,朱 欣,陈光燕,等. 贵州饲用灌木资源评价及其开发利用现状[J]. 贵州农业科学,2014,42(9):167-171.

[6] 曹国军,文亦芾,周 微. 多花木兰应用价值及丰产栽培技术研究[J]. 草食家畜,2006(4):57-59.

[7] 王 贤. 牧草栽培学[M]. 北京:中国环境科学出版社,2006:218-219.

[8] 中国饲用植物志编辑委员会. 中国饲用植物志:第 3 卷[M]. 北京:农业出版社,1991:186-189.

[9] 陈默君,贾慎修. 中国饲用植物[M]. 北京:中国农业出版社,2002:535-536.

[10] 李芳兰,包维楷,吴 宁. 白刺花幼苗对不同强度干旱胁迫的形态与生理响应[J]. 生态学报,2009,29(10):5406-5416.

[11] 李安定,李苇洁,唐金刚. 贵州喀斯特石漠化区白刺花群落主要种群生态位分析[J]. 湖北农业科学,2013,52(14):3286-3289.

[12] 陈 强,王达明,李品荣,等. 白刺花的育苗造林技术及开发利用前景[J]. 中国野生植物资源,2002,21(6):20-21.

[13] 贵州植物志编辑委员会. 贵州植物志:第七卷[M]. 成都:四川民族出版社,1989:372.

[14] 曾伟生. 国内外灌木生物量模型研究综述[J]. 世界林业研究,2015,28(1):31-36.

[15] 邓晓红,毕 坤. 贵州省喀斯特地貌分布面积及分布特征分析[J]. 贵州地质,2004,21(3):191-193,177.

[16] 胡方彩. 贵阳市花溪区林木种质资源调查[J]. 贵州林业科技,2010,38(4):36-39.

[17] 姜凤岐,卢凤勇. 小叶锦鸡儿灌丛地上生物量的预测模式[J]. 生态学报,1982,2(2):103-110.

[18] 王庆锁. 油蒿、中间锦鸡儿生物量估测模式[J]. 中国草地,1994(1):49-51.

[19] Lufafa A, Diédhiou I, Ndiaye N A S, et al. Allometric relationships and peak-season community biomass stocks of native shrubs in Senegal's Peanut Basin[J]. Journal of Arid Environments,2009,73(3):260-266.